

Artículo/Article
Sección B/Section B
Vol. 16, nro. 2
e3350

Efectividad de la fertilización líquida y bioestimulación en el rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) para consumo en fresco

Vicente Antonio Vera Bravo[1], Benny Alexander Avellán Cedeño[2], Galo Alexander Cedeño García[3], Sofía del Rocío Velázquez Cedeño[3], Geoconda López Álava[3], José Luis Zambrano Mendoza[4]

[1]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Maestría en Ingeniería Agrícola mención Fitotecnia, Calceta, Ecuador.

[2]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Portoviejo, Núcleo de Desarrollo Tecnológico, Portoviejo, Ecuador.

[3]Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Ingeniería Agrícola, Calceta, Ecuador.

[4]Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Maíz, Quito, Ecuador.

*Autor para correspondencia/Corresponding author: benny.avellan@iniap.gob.ec

Effectiveness of liquid fertilization and bio-stimulation on yield and profitability of maize (*Zea mays* L.) f or fresh consumption

Abstract

The consumption of sweet corn is very important in some coastal areas from the Equator . The goal of the study was to analyze the effectiveness of liquid fertilization and biostimulation on the yield and profitability of the INIAP 543 – QPM sweet corn (choclo). The work was carried out during two different rainy seasons in January-2021 and May-2022, in the locations of El Cady in Portoviejo, Danzarín in Rocafuerte, and El Limón in Bolívar, located at coordinates 1°07'14.6"S - 80°24'39.7"W, 0°54'42.0"S - 80°24'17.4"W, and 0°49'49.1"S - 80°10'48.6"W, respectively. The evaluated treatments were liquid fertilization + bio-stimulation (LF + BIO), granular fertilization + bio-stimulation (GF + BIO), granular fertilization (GF), and a control treatment without fertilization or bio-stimulation. A completely randomized block design was used, with four treatments and five replications. Corn ear yield (CEY), agronomic nitrogen efficiency (ANE), and economic profitability were recorded. The treatments had a significant influence ($p<0.05$) on CEY and ANE in both planting seasons and in the three locations evaluated. The LF + BIO and FG + BIO treatments achieved higher CEY with averages of 9.00 and 8.43 t ha^{-1}, with respect to the GF and control treatments with 7.76 and 3.26 t ha^{-1}, respectively. Similarly, on average, ANE was higher in the LF + BIO and GF + BIO treatments with 38.26 and 34.47 kg of CEY kg^{-1} of N applied, in contrast to the FG treatment that achieved an average ANE of 30.01 of CEY kg^{-1} of N applied. On the other hand, LF + BIO achieved greater increases in CEY and ANE with respect to GF + BIO. Economic profitability averaged USD$0.78 and USD$0.73 per each dollar invested for the LF + BIO and GF + BIO treatments, respectively, in comparison to the profitability of the GF and control treatments, which achieved a profit of USD$0.66 and USD$0.42 per each dollar invested. The results obtained allow us to conclude that under rainfall conditions, surface soil moisture depends on water





Editado por / Edited by:
María Gabriela Albán

Recibido / Received:
17/06/2024

Aceptado / Accepted:
19/08/2024

Publicado en línea / Published online:
29/11/2024

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



precipitation and therefore does not guarantee a permanent field capacity in the soil. In such conditions, edaphic fertilization applied in a diluted manner can be more efficient and convenient than granulated fertilization applied in a superficial band. In addition, under rainfall conditions, biostimulation is a technology that contributes to boost the edaphic fertilization of sweet corn, and its implementation is economically viable.

Keywords: Sweet corn, diluted fertilization, Granulated fertilization, Bio-stimulants, Productivity, Economic profit, Efficient use of nutrients.

Resumen

El consumo de maíz en fresco, tierno o choclo es muy importante en ciertas zonas costeras del litoral ecuatoriano. El propósito principal del estudio fue analizar la efectividad de la fertilización líquida y la bioestimulación en el rendimiento y la rentabilidad del maíz INIAP 543 – QPM destinado al consumo en forma de choclo. El trabajo se ejecutó durante las temporadas lluviosas 2021 y 2022, que se desarrollan de enero a mayo, en las localidades El Cady de Portoviejo, Danzarín de Rocafuerte y El Limón de Bolívar, ubicadas en las coordenadas 1°07'14.6"S - 80°24'39.7"W, 0°54'42.0"S - 80°24'17.4"W y 0°49'49.1"S - 80°10'48.6"W, respectivamente. Los tratamientos evaluados fueron la fertilización líquida + bioestimulación (FL + BIO), fertilización granulada + bioestimulación (FG + BIO), fertilización granulada (FG) y un tratamiento control sin fertilización ni bioestimulación. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Se registró el rendimiento de mazorcas (RM), eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) y rentabilidad económica. Los tratamientos influyeron de manera significativa ($p<0,05$) en el RM y la EAN en ambas temporadas de siembra y en las tres localidades evaluadas. Los tratamientos de FL + BIO y FG + BIO lograron mayor RM con promedios de 9,00 y 8,43 t ha^{-1}, con respecto a los tratamientos de FG y control con 7,76 y 3,26 t ha^{-1}, respectivamente. De forma similar, en promedio la EAN fue mayor en los tratamientos FL + BIO y FG + BIO con 38,26 y 34,47 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, en contraste al tratamiento de FG que logró una EAN promedio de 30,01 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado. Por otra parte, La FL + BIO logró mayores aumentos en RM y EAN con respecto a la FG + BIO. La rentabilidad económica en promedio fue de 0,78 y 0,73 dólares por cada dólar invertido en los tratamientos FL + BIO y FG + BIO, respectivamente, en comparación con la rentabilidad de los tratamientos FG y control, que lograron ganancias de 0,66 y 0,42 dólares, respectivamente, por cada dólar invertido. Los resultados logrados permiten concluir, que bajo condiciones de secano, donde la humedad superficial del suelo depende de las lluvias, y no siempre hay garantía de que se mantenga a capacidad de campo constante. En esas condiciones, la fertilización edáfica aplicada de manera diluida puede ser más eficiente y conveniente que la granulada aplicada en banda superficial. Además, bajo condiciones de temporal o secano, la bioestimulación es una tecnología que contribuye a potenciar la fertilización edáfica del maíz, siendo económicamente viable su aplicación.

Palabras clave: choclo, nutrición diluida, nutrición granulada, bioestimulantes, productividad, beneficio económico, uso eficiente de nutrientes.



INTRODUCCIÓN

La producción de maíz (*Zea mays* L.) en el mundo se ha incrementado en las últimas décadas en un 118 % con relación a 1995, lo cual ha sido impulsado por la demanda de la industria agroalimentaria y animal [1]. En el Ecuador, el maíz es un rubro de gran importancia social y económica debido a que genera fuentes de empleo, satisface la demanda interna de la industria y la seguridad alimentaria local [2]. En el país se han desarrollado cultivares de maíz de grano color blanco de alta calidad proteica para consumo en tierno o choclo, alimentación animal como forraje y la industria harinera local [3, 4]. A pesar de esto, el principal problema del cultivo es la baja productividad, con un rendimiento promedio de 5,76 t ha^{-1}, en comparación con otros países de la región, como Estados Unidos y Argentina, que superan las 8,0 t ha^{-1} [5]. Manabí, es la segunda provincia del Ecuador con mayor superficie maicera del país, con el 29,60 % de la producción nacional, pero más del 90 % del área se cultiva en secano, y alrededor del 83 % de las precipitaciones se presenta en un corto periodo de tiempo entre los meses de enero y abril, lo cual afecta seriamente el rendimiento del cultivo cuando se producen sequías repentinas, que se han presentado con mayor frecuencia en los últimos años en medio de la época de lluvias [5, 6, 7, 8, 9, 10].

Las sequías repentinas se intensifican rápidamente y ocurren en cualquier lugar y época del año, pudiendo reducir en más del 50% los valores de precipitación, además de ocasionar graves impactos socioeconómicos, sanitarios y ambientales [11, 12]. En este contexto, el estrés hídrico debido a la falta de lluvias impacta negativamente en la fertilización y nutrición del maíz, donde se han reportado reducciones de rendimiento de hasta el 38 % [13]. La ausencia de humedad en la superficie del suelo impide la adecuada solubilización de los fertilizantes granulados aplicados en banda superficial, lo que resulta en pérdidas significativas por volatilización, lixiviación y escorrentía cuando las lluvias regresan de manera intensa. Estos extremos climáticos promueven la pérdida de nutrientes en más del 40 %, intensificando la contaminación ambiental [14, 15, 16, 17]. Sumando a lo anterior, la disponibilidad de nutrientes para el cultivo está en gran medida regulada por la cantidad de agua disponible en el suelo, y durante los episodios de sequía o estrés hídrico, los cultivos pueden verse limitados simultáneamente por agua y nutrientes [16, 18], más aún el maíz que requiere cantidades elevadas de N, P y K, necesitando en promedio unos 18, 10 y 25 kg de N, P y K por cada tonelada de grano producido [19].

La fertilización de forma diluida ofrece la ventaja de que los nutrientes se aportan disueltos al suelo, lo que puede facilitar su movimiento hacia las raíces incrementando su absorción y uso eficiente, particularmente en momentos donde la humedad superficial del suelo no es suficiente para que los fertilizantes granulados se solubilicen completamente [20, 21, 22, 23]. Por otra parte, los bioestimulantes son productos orgánicos o inorgánicos que contienen sustancias bioactivas y/o microorganismos, que, aplicados a la planta, estimulan su crecimiento, productividad y calidad; por tanto, son tecnologías agronómicas que han mostrado una alta efectividad para aumentar el uso eficiente de nutrientes e impulsar el desarrollo y productividad de los cultivos bajo condiciones de estrés [24, 25, 26]. En esta línea, investigaciones realizadas por varios autores han demostrado que la fertilización líquida produce aumentos significativos en rendimiento mayores al 10 % en comparación con la fertilización granulada tradicional,

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



lo cual contribuye a aumentar el uso eficiente de nutrientes y rentabilidad del cultivo, incluso bajo condiciones de déficit hídrico del suelo [27, 28, 29]. Por otra parte, el uso de bioestimulantes en maíz ha evidenciado un efecto potenciador de la fertilización, el uso eficiente de nutrientes y rendimiento, y según varios autores, es posible lograr equilibrios entre productividad y reducción de la contaminación [30, 31, 32].

En el país, las ventajas que ofrecen la fertilización líquida y la bioestimulación no han sido exploradas de manera combinada en maíz de secano, donde la nutrición se complica cuando ocurren eventos de sequías repentinas en medio de la época de lluvias. Por lo tanto, este vacío de conocimiento no permite hacer mejoras en la nutrición del maíz; razón por la cual, el objetivo del trabajo fue determinar la efectividad de la fertilización líquida y bioestimulación en el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de maíz para consumo en choclo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se desarrolló durante las temporadas lluviosas de 2021 y 2022 que ocurren entre enero y mayo, en las localidades de Danzarín-Rocafuerte, El Cady-Portoviejo y El Limón-Bolívar de la provincia de Manabí en Ecuador. Las características edafoclimáticas de las localidades en estudio se describen en la tabla 1.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



TABLA 1. Características de clima y suelo de los sitios experimentales de evaluación de diversos métodos de aplicación de nutrientes y bioestimulantes en tres cantones de la provincia de Manabí, Ecuador.

Parámetro	Rocafuerte	Portoviejo	Bolívar
$N\text{-}NH_4$ (mg kg^{-1})	6,0	7,0	12,0
P (mg kg^{-1})	38,0	40,0	91,0
K (Cmol$_{(-)}$ kg^{-1})	1,25	0,70	1,81
Ca (Cmol$_{(-)}$ kg^{-1})	22,0	19,0	17,0
Mg (Cmol$_{(-)}$ kg^{-1})	2,7	4,1	5,8
S (mg kg^{-1})	6,0	8,0	5,0
Zn (mg kg^{-1})	2,9	1,2	2,3
Cu (mg kg^{-1})	6,7	3,6	7,3
Fe (mg kg^{-1})	17,0	30,0	51,0
Mn (mg kg^{-1})	2,7	14,0	1,9
B (mg kg^{-1})	0,40	0,56	0,74
MO (%)	1,1	1.7	2,2
pH	7,2	7,1	6,8
Coordenadas geográficas	0°54'42.0"S 80°24'17.4"W	1°07'14.6"S 80°24'39.7"W	0°49'49.1"S 80°10'48.6"W
Altitud (msnm)	9,4	47	15
Temperatura media anual (°C)	26,2	26,4	26,1
Humedad relativa (%)	84	81	83
Precipitación anual (mm)	245,30	851,57	1003,80

Tratamientos, diseño y unidad experimental

Los tratamientos evaluados fueron: T_1=fertilización edáfica líquida (en drench) + bioestimulación (FL + BIO), T_2=fertilización granulada en banda superficial (convencional) + bioestimulación (FG + BIO), T_3=fertilización granulada o convencional (FG) y T_4=tratamiento control (sin fertilizante). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos, cinco repeticiones y 20 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo conformada con parcelas de 24 m^2, donde las plantas fueron sembradas a 0,80 m entre hileras y a 0,25 m entre plantas; con una densidad de 50000 plantas ha^{-1}. Como material de siembra se utilizó la variedad de libre polinización de grano color blanco INIAP 543-QPM.

Registro de variables y análisis de datos

Se registraron componentes de rendimiento como longitud, diámetro y peso de mazorcas con brácteas, para lo cual se tomaron al azar cinco mazorcas del centro de

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



cada unidad experimental. La longitud se midió en cm desde la base hasta el ápice de la mazorca. El diámetro se midió en cm en el tercio medio de la mazorca. El peso se registró en g con una balanza analítica de precisión. Otra variable registrada fue la cantidad de mazorcas comerciales en términos de bultos de 150 mazorcas denominados almud, que es la unidad comercial a nivel local para choclos. La eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN) fue estimada con la ecuación descrita por Ren et al. [28]:

$$EAN = \frac{Rendimiento\ con\ N - Rendimiento\ sin\ N}{Dosis\ de\ N\ aplicado}$$

Los datos se analizaron mediante el análisis de varianza y en caso de encontrarse significancia estadística se realizó el análisis de medias con la prueba de Tukey al 5 %. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2020.

El análisis económico se realizó de acuerdo al método propuesto por Ayvar-Serna et al. [33], donde el costo total (CT) proviene de sumar los costos fijos (CF) y los costos variables (CV) (CT = CF+CV). El ingreso total (IT) se obtuvo a partir de la venta de la producción de mazorcas en almud (IT = PP*Ren), donde: PP = Precio del producto ($US/Almud), Ren = Rendimiento por hectárea (Almud/ha). El ingreso neto (IN) se calculó mediante la diferencia entre el ingreso total y el costo total (IN = IT – CT). La ganancia por dólar invertido (GDI) se calculó dividiendo el ingreso neto para el costo total (GDI = IN/CT).

Manejo específico del experimento

Antes de realizar la siembra, las semillas de maíz fueron tratadas con imidacloprid + thiodicarb, en dosis de 25 mL kg^{-1} de semilla. A los 10 días después de la siembra, se realizó una aplicación en drench con thiametoxam, en dosis de 1 mL L^{-1} de agua, con la finalidad de proteger las plantas de insectos chupadores. Para el control de insectos vectores (cicadélidos, pulgones, trips y crisomélidos) y en base a monitoreo, se aplicó fipronil, en dosis de 0,7 mL L^{-1} agua, y cuando fue necesario repetir el control, se utilizó lambda cihalotrina + thiametoxam, en dosis de 1 mL L^{-1} agua. El control de gusano cogollero se complementó con los insecticidas Spinetoram y Lufenuron en dosis de 100 mL ha^{-1} y 0,5 L ha^{-1}, respectivamente. El control pre-emergente de arvenses se realizó con Pendimetalin 2 L ha^{-1} + Atrazina 1,2 L ha^{-1}. El control pos-emergente se realizó con el herbicida Mesotrione en dosis de 0,40 L ha^{-1}.

La fertilización se realizó con dosis de 150, 23, 60, 30 y 50 kg ha^{-1} de N, P_2O_5, K_2O, MgO y S, respectivamente. En el tratamiento con fertilización convencional granulada en banda superficial, se utilizaron los fertilizantes urea (46 % N), DAP (18 % N y 46 % P_2O_5), cloruro de potasio (60 % K_2O), sulfato de magnesio (25 % MgO y 20 % S) y sulfato de amonio (21 % N y 24 % S). Para el tratamiento de fertilización líquida se utilizaron los fertilizantes urea (46 % N), fosfato mono potásico soluble (52 % P_2O_5 y 34 % K_2O), sulfato de magnesio soluble (16 % MgO y 13 % S), muriato de potasio soluble (60 % K_2O) y sulfato de amonio (21 % N y 24 % S). La solubilidad de estos fertilizantes fue de 1080, 225, 800, 200 y 900 g L^{-1} de agua. El fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en ambos tratamientos se realizó de acuerdo a lo recomendado por García y Espinosa [34], colocando el 20 % en la etapa fenológica VE, el 40 % en la etapa V6 y el 40 % en la etapa V10. El fertilizante

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



fosfatado se aplicó 100 % en la etapa VE. Los demás fertilizantes se aplicaron en dos fracciones: el 50 % en etapa VE y el 50 % en etapa V6.

Para la aplicación de fertilizantes solubles, se prepararon soluciones madres en tanques separados de acuerdo a la solubilidad y compatibilidad. En cada aplicación se disolvieron en tanques A los fertilizantes urea y cloruro de potasio, mientras que en los tanques B los fertilizantes fosfato mono potásico, sulfato de magnesio y sulfato de amonio. Luego se mezclaron y se llevó hasta un volumen de 1 250 litros de agua (6,25 tanques de 200 L). De esta solución final se aplicó 25 mL planta^{-1} en drench con ayuda de una bomba de mochila dosificadora modelo Doser. Este procedimiento se repitió en las tres aplicaciones de fertilización (VE, V6 y V10). Se realizaron cuatro aplicaciones de bioestimulantes, de las cuales dos se hicieron en drench en las etapas VE y V6. Las dos aplicaciones restantes fueron realizadas al follaje en las etapas V10 y V15. En drench se aplicó una mezcla de bioestimulantes con ácidos orgánicos, extracto de algas y micronutrientes, en dosis de 2 L ha^{-1}. En las aplicaciones foliares se aplicó una combinación de bioestimulantes a base de ácido salicílico, fitorreguladores y micronutrientes, en dosis de 2 L ha^{-1}.

RESULTADOS

Los diversos métodos de fertilización influenciaron significativamente ($p<0,05$) los componentes de rendimiento del maíz INIAP 543-QPM en las tres localidades y en ambas temporadas evaluadas. Los tratamientos de fertilización líquida y granulada con bioestimulación (FL + BIO y FG + BIO) lograron los mayores promedios de longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca con relación a la fertilización granulada convencional (FG) y el tratamiento control, siendo la FL + BIO la que logró los mayores valores promedio (Tabla 2). Como promedio de las tres localidades durante la temporada 2021, la longitud de mazorca bajo el efecto de la FL + BIO fue un 12,96, 22,74 y 45,22 % superior a los tratamientos FG + BIO, FG y control, respectivamente. Así mismo, para la temporada 2022 la longitud de mazorca fue incrementada un 11,27, 22,54 y 39,37 % con la FL + BIO, con respecto a los tratamientos FG + BIO, FG y control, en su orden respectivo (Tabla 2).

En promedio de las tres localidades para la temporada 2021, el diámetro de mazorca bajo el efecto de la FL + BIO fue superior a los tratamientos FG + BIO, FG y control con un 4,27, 13,89 y 36,75 %, respectivamente. De manera similar ocurrió para la temporada 2022, donde la FL + BIO alcanzó el mayor aumento en diámetro de mazorca con el 7,89, 17,48 y 39,87 % sobre los tratamientos FG + BIO, FG y control, respectivamente (Tabla 2). En cuanto al peso de mazorcas para la temporada 2021, el tratamiento FL +BIO promovió el mayor aumento con el 6,24, 20,11 y 50,55 %, con relación a los tratamientos FG + BIO, FG y control, respectivamente. De la misma forma, para la temporada 2022 el tratamiento de FL + BIO logró el mayor incremento en peso de mazorca con un 12,21, 19,01 y 38,29 %, en comparación a los tratamientos FG + BIO, FG y control, en su respectivo orden (Tabla 2).

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



TABLA 2. Efecto de la aplicación de nutrientes y bioestimulantes sobre la longitud, diámetro y peso de mazorcas de maíz INIAP 543-QPM, en condiciones de temporal o secano en tres cantones de Manabí, Ecuador.

Tratamientos	Año 2021			Año 2022		
	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Peso de mazorca (g)
Portoviejo						
FL + BIO	23.64 a	4.41 a	335.33 a	20.72 a	4.69 a	259.10 a
FG + BIO	20.77 b	4.35 a	315.61 a	19.12 b	4.47 a	234.50 b
FG	18.64 c	4.22 a	266.11 b	17.05 c	3.80 b	214.87 c
Control	13.21 d	2.87 b	151.39 c	13.81 d	2.81 c	164.92 d
p-valor ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	5.32	5.98	6.84	3.24	6.00	3.10
Rocafuerte						
FL + BIO	22.82 a	4.89 a	278.08 a	24.12 a	4.53 a	263.41 a
FG + BIO	20.45 b	4.66 a	259.62 a	20.58 b	4.25 ab	228.68 b
FG	17.57 c	4.10 b	221.66 b	18.26 c	3.97 b	210.81 b
Control	10.85 d	2.93 c	169.13 c	14.96 d	2.96 c	166.96 c
p-valor ANOVA	0.0211	0.0032	0.0001	0.0001	0.0120	0.0205
C.V. %	5.15	3.18	4.28	3.67	4.25	4.85
Bolívar						
FL + BIO	23.19 a	4.75 a	263.05 a	25.42 a	4.84 a	280.57 a
FG + BIO	19.40 b	4.42 b	244.19 b	22.64 b	4.23 b	241.84 b
FG	17.61 b	3.77 c	213.70 c	19.10 c	3.85 b	217.54 c
Control	14.11 c	3.08 d	158.97 d	13.84 d	2.68 c	163.72 d
p-valor ANOVA	0.0021	0.0001	0.0001	0.0014	0.0234	0.0001
C.V. %	5.70	2.76	3.71	4.55	5.83	3.84

Tratamientos: FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada; C.V. = coeficiente de variación

La producción y rendimiento de las mazorcas fueron afectadas significativamente ($p<0,05$) por los diversos tratamientos de fertilización aplicados en las tres localidades y durante las dos temporadas de siembra probadas; siendo el tratamiento FL + BIO el que logró los mayores resultados (Tabla 3). Durante la temporada 2021, considerado el promedio de las tres localidades, el tratamiento de FL + BIO logró una producción adicional de 4072, 9125 y 18775 mazorcas comerciales en comparación a los tratamientos de FG + BIO, FG y control, respectivamente. Por su parte, el rendimiento de mazorcas fue un 5,79, 13,72 y 64,52 % superior en el tratamiento de FL + BIO con relación a los tratamientos FG +

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



BIO, FG y control, en su respectivo orden, esto como promedio de las tres localidades evaluadas (Tabla 3). Para la temporada 2022, el tratamiento de FL + BIO como promedio de las tres zonas de estudio produjo 4590, 8793 y 18702 mazorcas comerciales adicionales con respecto a los tratamientos FG + BIO, FG y control, respectivamente. Una tendencia similar fue observada para el rendimiento de mazorcas, donde en el promedio de las tres localidades el tratamiento de FL + BIO logró un incremento del 6,91, 13,82 y 63,02 % superior a los tratamientos FG + BIO, FG y control, respectivamente (Tabla 3).

TABLA 3. Efecto de la aplicación de nutrientes y bioestimulantes sobre la producción de mazorcas comerciales y rendimiento de mazorcas de maíz INIAP 543-QPM, bajo condiciones de temporal o secano en tres cantones de Manabí, Ecuador.

Tratamientos	Año 2021		Año 2022	
	Mazorcas comerciales	Rendimiento de mazorcas comerciales (t ha^{-1})	Mazorcas comerciales	Rendimiento de mazorcas comerciales (t ha^{-1})
Portoviejo				
FL + BIO	39338 a	9.35 a	40789 a	8.58 a
FG + BIO	35236 b	8.84 a	36788 b	7.84 b
FG	30213 c	7.83 b	32236 c	7.28 c
Control	20402 d	2.78 c	21837 d	3.23 d
p-valor ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	5.49	4.31	4.23	4.42
Rocafuerte				
FL + BIO	40264 a	9.31 a	39778 a	8.91 a
FG + BIO	36127 b	8.71 ab	35257 b	8.46 ab
FG	31101 c	8.14 b	31526 c	8.00 b
Control	20845 d	3.49 c	22469 d	3.38 c
p-valor ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	4.67	4.98	6.78	5.71
Bolívar				
FL + BIO	39678 a	9.33 a	40432 a	8.55 a
FG + BIO	35700 ab	8.81 b	35184 b	7.94 b
FG	30591 b	8.18 c	30859 c	7.16 c
Control	21709 c	3.67 d	20586 d	3.03 d
p-valor ANOVA	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
C.V. %	6.22	4.82	5.99	6.07

Tratamientos: FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada; C.V. = coeficiente de variación

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



Los diversos tratamientos aplicados tuvieron un efecto significativo ($p<0,05$) sobre la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN), donde la FL + BIO logró la mayor EAN con relación a los tratamientos de FG + BIO y FG, en las tres zonas de estudio y en las dos temporadas de siembra (Figuras 1 y 2). Para la temporada 2021, en la localidad de Portoviejo, la EAN fue de 43,82 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado con la FL + BIO, lo cual fue superior a la FG + BIO y FG con un 7,83 y 23,21 %, respectivamente. En la zona de Rocafuerte sucedió de manera similar, donde la FL + BIO logró la mayor EAN con 38,82 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, con un incremento del 10,30 y 20,14 % sobre los tratamientos de FG + BIO y FG en su orden respectivo. De la misma manera se produjo en Bolívar, donde el tratamiento FL + BIO alcanzó el mayor valor de EAN con 37,78 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, con un aumento del 9,24 y 20,33 % sobre los tratamientos FG + BIO y FG, respectivamente (Figura 1).

Para la temporada 2022, el tratamiento de FL + BIO produjo el mayor promedio de EAN en Portoviejo con 35,64 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, superando con el 13,83 y 24,27 % a los tratamientos de FG + BIO y FG, respectivamente. Tendencia similar se evidenció para la localidad de Rocafuerte, donde la FL + BIO logró una EAN de 36,87 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, con relación a los tratamientos de FG + BIO y FG que alcanzaron una EAN de 33,85 y 30,78 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, respectivamente. Así mismo, en la zona de Bolívar, la FL + BIO produjo la mayor EAN con 36,67 kg de mazorcas kg^{-1} de N aplicado, superando a los tratamientos de FG + BIO y FG con el 10,64 y 24,90 %, respectivamente (Figura 2).

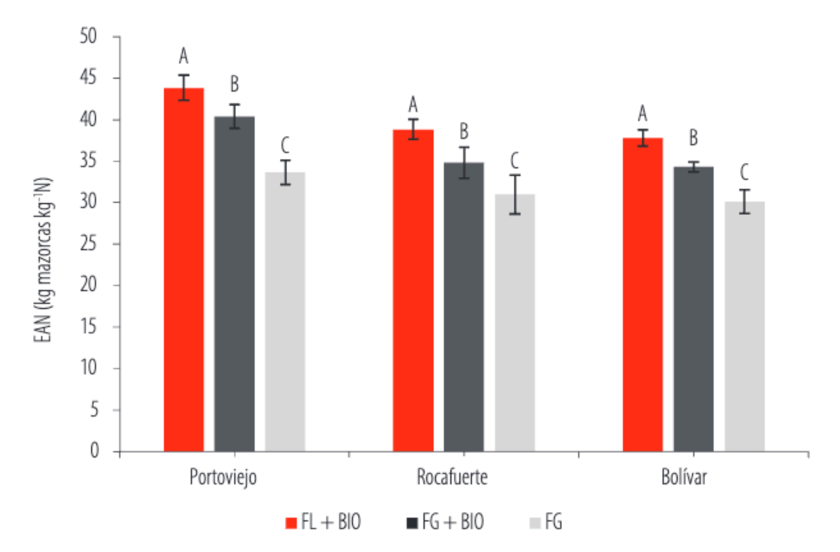


FIGURA 1. Eficiencia agronómica del nitrógeno con tres métodos de aplicación de nutrientes y bioestimulantes en el cultivo de maíz para choclo durante la temporada lluviosa de 2021 en tres cantones de Manabí, Ecuador. FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350

Artículo/Article
Sección B/Section B
Vol. 16, nro. 2
e3350



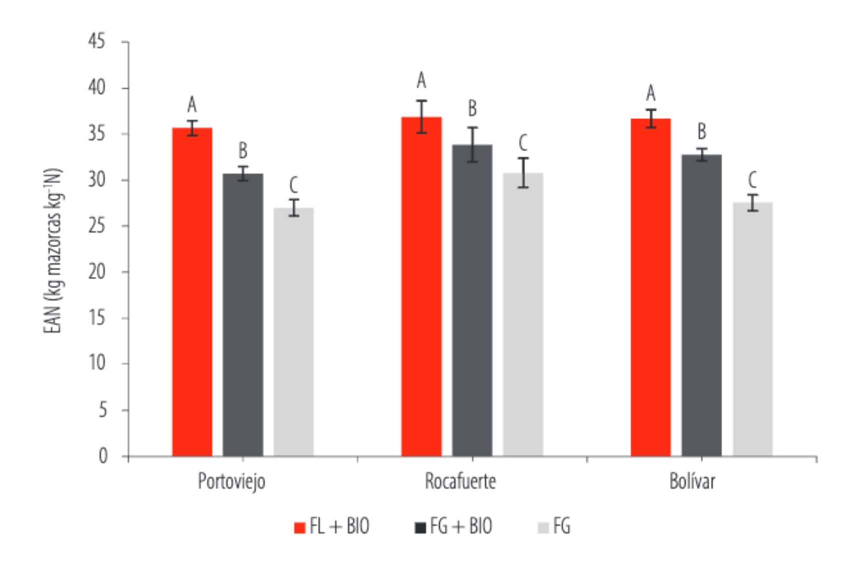


FIGURA 2. Eficiencia agronómica del nitrógeno con tres métodos de aplicación de nutrientes y bioestimulantes en el cultivo de maíz para choclo durante la temporada lluviosa de 2022 en tres cantones de Manabí, Ecuador. FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada.

La rentabilidad económica fue mayor en los tratamientos de fertilización con bioestimulación (FL + BIO y FG + BIO) frente al tratamiento de fertilización convencional, en ambas temporadas de siembra y localidades evaluadas (Tablas 4 y 5), lo cual denota las ventajas económicas del uso de bioestimulantes para complementar la fertilización. En la temporada 2021, para la zona de Portoviejo, la rentabilidad del tratamiento FL + BIO fue de 0,75 dólares por cada dólar invertido, lo cual fue superior a los tratamientos de FG + BIO, FG y control con el 5,33, 18,67 y 52 %, respectivamente. De la misma manera ocurrió para la zona de Rocafuerte, donde la FL + BIO logró la mayor rentabilidad con 0,79 dólares por cada dólar invertido, que superó a la FG + BIO, FG y control, con el 5,06, 16,46 y 50,63 %, respectivamente. De forma similar, se presentó para la localidad de Bolívar, donde la FL + BIO alcanzó la mayor rentabilidad con 0,76 dólares por cada dólar invertido, con incrementos del 3,95, 17,11 y 40,79 % sobre los tratamientos de FG + BIO, FG y control, en su orden respectivo (Tabla 4). Para la temporada 2022 se lograron resultados con la misma tendencia del 2021, donde el tratamiento de FL + BIO alcanzó mayor rentabilidad económica con el 0,81, 0,77 y 0,80 dólares por cada dólar invertido en las localidades de Portoviejo, Rocafuerte y Bolívar, respectivamente, seguido de los tratamientos de FG + BIO, FG y control con menor rentabilidad en las tres localidades (Tabla 5). Los resultados evidencian que la fertilización en forma líquida, a pesar de tener un mayor costo, tiende a incrementar el rendimiento y rentabilidad del choclo en temporal o secano con respecto a la fertilización convencional o granulada aplicada en banda superficial. Además, la bioestimulación, independientemente del tipo de fertilización, ayuda a potenciar el rendimiento del cultivo de maíz INIAP 543-QPM en estado de choclo bajo condiciones de temporal, y su aplicación se justifica plenamente desde lo económico.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



TABLA 4. Análisis de rentabilidad económica de tres métodos de aplicación de nutrientes y bioestimulantes en el cultivo de maíz para choclo variedad INIAP 543-QPM, durante la temporada lluviosa de 2021, en tres cantones de Manabí, Ecuador.

Tratamientos	Rendimiento (almud/ha)	PV (USD/ almud)	IT = PV*Rend	CT = CF+CV	IN = IT-CT	RBC = IN/CT
Portoviejo						
FL + BIO	262	12	3147	1800	1347	0.75
FG + BIO	235	12	2819	1650	1169	0.71
FG	201	12	2412	1500	912	0.61
Control	136	12	1632	1200	432	0.36
Rocafuerte						
FL + BIO	268	12	3221	1800	1421	0.79
FG + BIO	241	12	2892	1650	1242	0.75
FG	207	12	2484	1500	984	0.66
Control	139	12	1668	1200	468	0.39
Bolívar						
FL + BIO	265	12	3174	1800	1374	0.76
FG + BIO	238	12	2856	1650	1206	0.73
FG	204	12	2448	1500	948	0.63
Control	145	12	1740	1200	540	0.45

FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada; PV: precio de venta; IT: ingresos totales; Rend: rendimiento; CT: costos totales; CF: costos fijos; CV: costos variables; IN: ingresos netos; RBC: relación beneficio/costo.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



TABLA 5. Análisis de rentabilidad económica de tres métodos de aplicación de nutrientes y bioestimulantes en el cultivo de maíz para choclo variedad INIAP 543-QPM, durante la temporada lluviosa de 2022, en tres cantones de Manabí, Ecuador.

Tratamientos	Rendimiento (almud/ha)	PV (USD/ almud)	IT = PV*Rend	CT = CF+CV	IN = IT-CT	RBC = IN/CT
Portoviejo						
FL + BIO	272	12	3263	1800	1463	0.81
FG + BIO	245	12	2943	1650	1293	0.78
FG	215	12	2579	1500	1079	0.72
Control	146	12	1747	1200	547	0.46
Rocafuerte						
FL + BIO	265	12	3182	1800	1382	0.77
FG + BIO	235	12	2821	1650	1171	0.71
FG	210	12	2522	1500	1022	0.68
Control	150	12	1798	1200	598	0.50
Bolívar						
FL + BIO	270	12	3235	1800	1435	0.80
FG + BIO	235	12	2815	1650	1165	0.71
FG	206	12	2469	1500	969	0.65
Control	137	12	1647	1200	447	0.37

FL + BIO = fertilización líquida + bioestimulación; FG + BIO = fertilización granulada + bioestimulación; FG = fertilización granulada; PV: Precio de venta; IT: Ingresos totales; Rend: rendimiento; CT: Costos totales; CF: Costos fijos; CV: Costos variables; IN: Ingresos netos; RBC: Relación beneficio/costo

DISCUSIÓN

Los resultados logrados con los diferentes tratamientos de fertilización y bioestimulación, indican que la fertilización en forma líquida fue más eficiente para maíz choclo de temporal o secano con respecto a la fertilización convencional (granulada en banda superficial), lo cual demuestra que en condiciones ambientales donde la agricultura depende de las lluvias y no existe posibilidad de aplicar riego complementario cuando las precipitaciones se ausentan momentáneamente, la fertilización líquida es más conveniente que la granulada para un mayor aprovechamiento de los nutrientes. Además, la bioestimulación, independientemente si la fertilización es líquida o granulada, promovió un mayor potencial de rendimiento, eficiencia agronómica de nitrógeno y rentabilidad económica frente a la fertilización convencional sin bioestimulación. En este contexto, resultados obtenidos por Arifin [27] reportó un rendimiento de hasta 9,10 t ha^{-1} y un mayor ingreso económico en maíz con fertilización líquida NPK, con respecto a los tratamientos

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



de fertilización granulada y control, que lograron 7,57 y 6,54 t ha^{-1}, respectivamente, además de haber generado menores ingresos económicos. Por su parte, los resultados obtenidos por Ren et al. [28] revelaron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados líquidos aumentó el rendimiento de grano e índice de cosecha del maíz en un 9,1 y 5,5 %, respectivamente, en comparación a la urea convencional. La fertilización líquida también aumentó el factor parcial de productividad, la eficiencia agronómica del nitrógeno y su tasa de recuperación en un 9,1, 19,8 y 31,2 %, respectivamente; en contraste con las del tratamiento con urea granulada [28]. En esta misma línea, los resultados observados por Motasim et al. [29] reportaron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados líquidos en tres fracciones (10, 40 y 65 días después de la siembra) fue más efectiva que el fertilizante granulado para incrementar el crecimiento, el rendimiento y el uso eficiente de N (UEN) en maíz. Además, con fertilización líquida, el rendimiento del maíz fue de 6,77 t ha^{-1}, el UEN fue del 72,82 %, en comparación con el fertilizante granulado que produjo rendimientos y UEN significativamente menores [29]. En otra experiencia semejante, Budiono et al. [35] reportaron que la fertilización líquida NPK produjo un efecto sobre el rendimiento del maíz dulce comparable a la fertilización NPK convencional, por lo que, bajo condiciones de baja humedad superficial del suelo, podría ser implementada como alternativa tecnológica.

Nuestros resultados se aproximan a los descritos por otros autores en cultivos de trigo y caña de azúcar. En este contexto, Walsh y Christiaens [36] concluyeron que la fertilización líquida resultó ser la fuente fertilizante más adecuada para los sistemas de cultivo de trigo en secano, en comparación con la fertilización granulada convencional. Por su parte, Da Silva et al. [37] demostraron que, en caña de azúcar, la aplicación de fuentes líquidas de N incorporadas al suelo produjo rendimientos de entre 96 a 98 t ha^{-1}, en comparación con la aplicación superficial granulada y tratamiento control, que produjeron rendimientos de 91 y 75 t ha^{-1}, respectivamente. Resultados relacionados también fueron descritos por Erenoğlu y Dündar [38], quienes informaron que la fertilización líquida aumentó la eficiencia de P y rendimiento de biomasa en plantas de trigo, en comparación con la fertilización granulada. En otro estudio reciente realizado en caña de azúcar, se determinó que el fertilizante líquido promovió un rendimiento de tallos de caña de azúcar 25 % mayor en comparación con el fertilizante sólido en la temporada de cultivo con lluvias bajas, mientras que, en la temporada de cultivo con lluvias normales, no hubo diferencias entre tratamientos [39].

Los resultados ya descritos sugieren que cuando no existe suficiente humedad en el suelo que garantice la solubilidad y disponibilidad de los fertilizantes colocados en banda superficial, sería más conveniente el uso de soluciones líquidas para la fertilización del maíz en secano, lo cual es muy recurrente en zonas maiceras de Manabí, donde se realizó este estudio. En este sentido, Bogusz et al. [22] reportaron que la forma líquida de los fertilizantes garantiza una mayor disponibilidad y distribución de los nutrientes, principalmente en períodos de sequía. Además, estos mismos autores concluyeron que la aplicación de fertilizantes diluidos se justifica desde el punto de vista económico. De igual manera, Motasim et al. [23] reportaron que el uso de fertilizante líquido es una tecnología eficaz para mejorar el uso eficiente de nutrientes, al aumentar la disponibilidad, absorción, y disminuir pérdidas.

En cuanto a los resultados obtenidos con los tratamientos de bioestimulación, son similares a los logrados por Atta et al. [40], quienes reportaron que el rendimiento del

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



maíz con aplicación de bioestimulantes superó significativamente al control en un 26 %. Los resultados obtenidos también son próximos a los alcanzados por Ali et al. [41], que con la aplicación de ácidos húmicos incrementaron el rendimiento del maíz en un 41 %, con respecto al control, bajo condiciones de estrés hídrico. Por su parte, Khan et al. [42] evidenciaron un aumento en el rendimiento de maíz del 86 % con la aplicación de ácidos húmicos, con relación al tratamiento control. Resultados semejantes fueron descritos por Kapela et al. [43], quienes informaron aumentos de rendimiento de entre 0,14 a 0,68 t ha^{-1} con aplicación de bioestimulantes, en comparación al tratamiento sin bioestimulación. De forma similar, Martínez et al. [31] reportaron incrementos de rendimiento en maíz de entre 7,9 a 11,4 % con aplicación de bioestimulantes, en contraste con el tratamiento control sin bioestimulantes. En trabajos de investigación desarrollados por Li et al. [44], se concluyó que el uso combinado de bioestimulantes en maíz aumentó el UEN en un rango de 11,60 % a 22,57 % en comparación con el tratamiento de fertilización convencional, y de 11,78 % a 22,75 % en comparación con el tratamiento de fertilización convencional + cobertera. Los resultados descritos en nuestro estudio y en trabajos anteriores, confirman que el uso de bioestimulantes para complementar la nutrición del maíz, es una alternativa eficiente desde lo agronómico y económico, donde se logran incrementos de rendimiento en más del 10 % en maíz, con relación al manejo convencional. En este sentido, el uso de bioestimulantes es una de las estrategias sostenibles para lograr el equilibrio entre el aumento de la productividad del maíz y la protección de los ecosistemas maiceros [32]. El efecto positivo de los bioestimulantes, se debe a los componentes orgánico-minerales que aportan, promoviendo así mayor crecimiento de raíces, mayor absorción y uso eficiente de nutrientes, mayor actividad fotosintética y metabólica, mejor tolerancia al estrés hídrico y por ende mayor uso eficiente del agua, más aún en zonas de secano [45, 26, 44].

CONCLUSIONES

Bajo condiciones de secano o temporal, la fertilización en forma líquida fue más efectiva que la fertilización convencional o granulada, con un incremento promedio en rendimiento del 13,78 %. La fertilización en forma líquida logró mayor rentabilidad económica por cada dólar invertido con respecto a la fertilización granulada convencional, con un incremento del 15,38 %. La fertilización líquida también logró mayor eficiencia agronómica de N, produciendo un aumento del 21,56 % en rendimiento de mazorcas por cada kg de N aplicado, frente a la fertilización granulada convencional, por lo que, bajo condiciones de secano, sería más conveniente su uso. La aplicación de bioestimulantes como complemento a la fertilización potenció significativamente el rendimiento, la eficiencia agronómica de N y la rentabilidad del cultivo, con respecto a la fertilización convencional sin bioestimulación, independientemente de si la fertilización usada sea líquida o granulada. Con estos resultados podemos recomendar que, bajo condiciones de secano de Manabí, donde se produce maíz para consumo en choclo, es conveniente aplicar la fertilización de forma líquida en combinación con bioestimulantes, especialmente cuando se ausentan las lluvias, mientras que, bajo condiciones normales de lluvias, la fertilización granulada puede ser suficiente y la más conveniente desde el punto de vista económico.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por haber financiado parte de esta investigación a través del proyecto institucional "Alternativas tecnológicas para potenciar la conservación del suelo y la producción agrícola de ladera y secano en Manabí" (CUP 386888), que se ejecuta en la institución tal como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano. Además, agradecen a la Red Latinoamericana del Maíz y al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED (proyecto Tech Maíz) por fomentar el uso y la difusión de tecnologías sostenibles para el cultivo de maíz en las Américas.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Vicente Antonio Vera Bravo y Geoconda López Álava desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo; Benny Avellán Cedeño y Galo Cedeño García concibieron la investigación, diseñaron el modelo, corrieron los análisis y apoyaron en la redacción del manuscrito; Sofía del Rocío Velázquez Cedeño y José Luis Zambrano Mendoza apoyaron en la redacción del manuscrito y revisaron críticamente el contenido intelectual del mismo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v16i2.3350



REFERENCIAS

[1] Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prasanna, B. (2022). Global maize production, consumption and trade: trends and implications. *Food Security* 14(5), 1295–1319. https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7

[2] Analuisa, I., Jimber del Río, J., Fernández, J., & Vergara, A. (2023). La cadena de valor del maíz amarillo duro ecuatoriano. Retos y oportunidades. *Lecturas de Economía, 98,* 231-262. https://doi.org/10.17533/udea.le.n98a347315

[3] Alarcón, D., Limongi, J., Zambrano, E., & Navarrete, B. (2019). Desarrollo de una variedad de maíz tropical de grano blanco con calidad de proteína para consumo en fresco. *Avances en Ciencias e Ingenierías, 11(17),* 30-39. https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1101

[4] Eguez, J., Pintado, P., Ruilova, F., Zmabrano, J., Villavicencio, J., Caicedo, M., Alarcón, D., Zambrano, E., Limongi, J., Yánez, C., Narro, L., & San Vicente, F. (2019). Desarrollo de un híbrido de maíz de grano blanco para consumo en fresco en Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingenierías, 11(17),* 46-53. https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1102

[5] MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2022). Estado del cultivo de maíz amarillo en el Ecuador. *Boletín situacional cultivo de maíz amarillo*. Quito, Ecuador. http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/maiz/boletines-situacionales-maiz-ecuador

[6] Jiménez, S., Castro, L., Yépez, J., & Wittmer, C. (2012). El impacto del cambio climático en la agricultura de subsistencia del Ecuador. *Avances de Investigación ,66*: 1 – 92. https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2014/08/AI66.pdf

[7] Thielen, D., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, I., Figueroa, J., Velásquez, E., Matute, N., Quintero, J., & Puche, M. (2016). Dinámica espacio-temporal de las precipitaciones durante el evento de El Niño 97/98 en la cuenca de Río Portoviejo, Manabí, costa ecuatoriana del Pacífico. *Revista de Climatología*, *16*, 35 – 50. https://www.climatol.eu/reclim/reclim16c.pdf

[8] Pérez, R., Cabrera, E., & Hinostroza, M. (2018). The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 27(1),* 5 – 12. http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v27n1/rcta01118.pdf

[9] Zambrano, E., Rivadeneira, J., & Pérez, M. (2018). Linking El Niño southern oscillation for early drought detection in tropical climates: The Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment, 643*, 193–207. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.160

[10] INEC (2023). Módulo de información ambiental y tecnificación agropecuaria. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Boletín técnico 2023. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_ESPAC/2023/DOC_TEC_MOD_AMB_ESPAC_2023_04.pdf

[11] Miró, J., Estrela, M., Corell, D., Gómez, I., & Luna, M. (2023). Precipitation and drought trends (1952–2021) in a key hydrological recharge area of the eastern Iberian Peninsula. *Atmospheric Research, 286,* 106695. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106695

[12] Speer, M., Hartigan, J., & Leslie, L. (2024). Machine learning identification of attributes and predictors for a flash drought in eastern Australia. *Climate, 12(4),* 49. https://doi.org/10.3390/cli12040049

[13] Amissah, S., Ankomah, G., Lee, R., Perry, C., Washington, B., Porter, W., Virk, S., Bryant, C., Vellidis, G., Harris, G., Cabrera, M., Franklin, D., Diaz-Perez, J., & Sintim, H. (2024). Assessing corn recovery from early season nutrient stress under different soil moisture regimes. *Frontiers in Plant Science, 15,* 1344022. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1344022

[14] Siman, F., Andrade, F., & Passos, R. (2020). Nitrogen fertilizers and NH3 volatilization: effect of temperature and soil moisture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(10).* https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1763384

[15] Lisboa, M., Schneider, R., Sullivan, P., & Walter, T. (2020). Drought and post-drought rain effect on stream phosphorus and other nutrient losses in the Northeastern USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 28*, 100672. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100672

[16] Mahmud, K., Panday, D., Mergoum, A., & Missaoui, A. (2021). Nitrogen losses and potential mitigation strategies for a sustainable agroecosystem. *Sustainability (13),* 2400. https://doi.org/10.3390/su13042400

[17] Yao, Y., Dai, Q., Gao, R., Gan, Y., & Yi, X. (2021). Effects of rainfall intensity on runoff and nutrient loss of gently sloping farmland in a karst area of SW China. *PLoS ONE 16(3)*, e0246505. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246505



[18] Furtak, K., & Wolińska, A. (2023). The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. *Catena ,231,* 107378. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378

[19] IPNI (International Plant Nutrition Institute). (2012). 4R Plant nutrition manual: a manual for improving the management of plant nutrition, Metric Versión. (T.W. Bruulsema, P.E. Fixen, G.D. Sulewski, eds.), *International Plant Nutrition Institute, Norcross, GA,* EE.UU.

[20] Plett, D., Ranathunge, K., Melino, V., Kuya, N., Uga, Y., & Kronzucker, H. (2020). The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. *Journal of Experimental Botany 71(15),* 4452–4468. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049

[21] Weeks, J., & Hettiarachchi, G. (2019). A review of the latest in phosphorus fertilizer technology: *Possibilities and Pragmatism. Journal of Environmental Quality, 48,* 1300–1313. https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0067

[22] Bogusz, P., Rusek, P., & Brodowska, M. (2021). Suspension fertilizers: how to reconcile sustainable fertilization and environmental protection. *Agriculture, 11(10)*, 1008. https://doi.org/10.3390/agriculture11101008

[23] Motasim, A., Samsuri, A., Sukor, A., & Amin, A. (2022a). Split application of liquid urea as a tool to nitrogen loss minimization and NUE improvement of corn – A review. *Chilean Journal of Agricultural Research, 82 (4)*, 645-657. https://doi.org/10.4067/S0718-58392022000400645

[24] Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae. 8,* 189. https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189

[25] Mandal, S., Anand, U., López-Bucio, J., Manoj Kumar, R., Kumar Lal, M., Kumar Tiwari, R., & Dey, A. (2023). Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental Research, 233,* 116357. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357

[26] Luiz, G., Ferreira, S., Lustosa, R., Dos Santos, OF., Vendruscolo, E., Jacinto de Oliveira, J., do Nascimento de Araújo, T., Mubarak, K., Finatto, T., & AbdElgawad, H. (2023). Biostimulants in corn cultivation as a means to alleviate the impacts of irregular water regimes induced by climate change. *Plants, 12(13),*2569. https://doi.org/10.3390/plants12132569

[27] Arifin, Z. (2019). The effect of liquid NPK fertilizing on corn plants. International Conference on Biology and Applied Science (ICOBAS). *AIP Conference Proceedings, 2120 (1).* https://doi.org/10.1063/1.5115617

[28] Ren, B., Guo, Y., Liu, P., Zhao, B. & Zhang, J. (2021). Effects of urea-ammonium nitrate solution on yield, n_2o emission, and nitrogen efficiency of summer maize under integration of water and fertilizer. *Frontiers in Plant Science, 12,* 700331.https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700331

[29] Motasim, A., Samsuri, A., Sukor, A., & Amin, A. (2022b). Effects of liquid urea application frequency on the growth and grain yield of corn (Zea mays L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53(17),* 2245–2256. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2071435

[30] Kapela, K., Sikorska, A., Niewęgłowski, M., Krasnodębska, E., Zarzecka, K., & Gugała, M. (2020). The impact of nitrogen fertilization and the use of biostimulants on the yield of two maize varieties (*Zea mays* L.) cultivated for grain. *Agronomy, 10(9),* 1408. https://doi.org/10.3390/agronomy10091408

[31] Martínez, A., Zamudio, B., Tadeo, M., Espinosa, A., Cardoso, J., & Vázquez, M. (2022). Rendimiento de híbridos de maíz en respuesta a la fertilización foliar con bioestimulantes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13(2)*, 289-301. https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2782

[32] Ocwa, A., Mohammed, S., Mousavi, S., Illés, A., Bojtor, C., Ragán, P., Rátonyi, T., & Harsányi, E. (2024). Maize grain yield and quality improvement through biostimulant application: a systematic review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition,* 1-41. https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z

[33] Ayvar-Serna, S., J. F. Díaz-Nájera, M. Vargas-Hernández, A. Mena-Bahena, M. A. Tejeda-Reyes & Z. Cuevas-Apresa. (2020). Profitability of grain and fodder production systems of corn hybrids, with biological and chemical fertilization in dry tropic. *Terra Latinoamericana 38(1),* 9-16. https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507

[34] García, J., & Espinoza, J. (2009). Efecto del fraccionamiento del nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. *Informaciones agronómicas,72,* 1 – 5. http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F6C2CDE6735C18CF852579A0006B1E93/$FILE/Efecto%20del%20Fraccionamiento%20de%20Nitr%C3%B3geno%20en%20la%20Productividad%20.....pdf



[35] Budiono, R., Asnita, R., Noerwijati, K., Gamawati, P., & Anwar, S. (2023). Sweet corn growth and productivity on several levels dosage of liquid NPK fertilizer. *E3S Web of Conferences* , *432,* 00031. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343200031

[36] Walsh, O., & Christiaens, R. (2016). Relative efficacy of liquid nitrogen fertilizers in dryland spring wheat. *International Journal of Agronomy, 2016,* 6850672. https://doi.org/10.1155/2016/6850672

[37] Da Silva, M., Junqueira, H., & Graziano, P. (2017). Liquid fertilizer application to ratoon cane using a soil punching method. *Soil and Tillage Research, 165,* 279-285. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.020

[38] Erenoğlu, E., & Dündar, S. (2020). Application of liquid phosphorus fertilizer improves the availability of phosphorus in calcareous soils. *Applied Ecology and Environmental Research, 18,* 3615-3626. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_36153626

[39] Castro, S., Coelho, A., Castro, S., Souza Chiachia, T., Castro, R., & Lemos, L. (2023). Fertilizer source and application method influence sugarcane production and nutritional status. *Frontiers in Plant Science, 14,* 1099589. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1099589

[40] Atta, M., Abdel-Lattif, H., & Absy, R. (2017). Influence of biostimulants supplement on maize yield and agronomic traits. *Bioscience Research*, 14(3), 604–615.

[41] Ali. S., Jan, A., Manzoor., Sohail, A., Khan, A., Khan, M., Inamullah., Zhang, J., & Daur, I. (2018) Soil amendments strategies to improve water-use efficiency and productivity of maize under different irrigation conditions. *Agricultural Water Management, 210,* 88–95. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.009

[42] Khan, S., Khan, S., Qayyum, A., Gurmani, A., Khan, A., Khan, S., Ahmed, W., Mehmood, A., & Amin, B. (2019). Integration of humic acid with nitrogen wields an auxiliary impact on physiological traits, growth and yield of maize (Zea mays L.) Varieties. *Applied Ecology & Environmental Research, 17(3),* 6783–6799. https://doi.org/10.15666/aeer/1703_67836799

[43] Kapela, K., Sikorska, A., Niewęgłowski, M., Krasnodębska, E., Zarzecka, K., & Gugała, M. (2020). The impact of nitrogen fertilization and the use of biostimulants on the yield of two maize varieties (Zea mays L.) Cultivated for Grain. *Agronomy, 10(9),* 1408. https://doi.org/10.3390/agronomy10091408

[44] Li, J., Ma, H., Ma, H., Lei, F., He, D., Huang, X., Yang, H., & Fan, G. (2023). Comprehensive effects of n reduction combined with biostimulants on n use efficiency and yield of the winter wheat–summer maize rotation system. *Agronomy. 13(9),* 2319. https://doi.org/10.3390/agronomy13092319

[45] Capo, L., Sopegno, A., Reyneri, A., Ujvári, G., Agnolucci, M., & Blandino, M. (2023). Agronomic strategies to enhance the early vigor and yield of maize part II: the role of seed applied biostimulant, hybrid, and starter fertilization on crop performance. *Frontiers in Plant Science, 14,* 1240313. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1240313